



IFSTTAR - lundi 4 mai 2015

Séminaire :

Observation et Modélisation du Comportement des Piétons en Ville

L'acheminement des piétons dans les gares



pierre.argoul@enpc.fr
zoi.christoforou@enpc.fr
walid.el-adnani@enpc.fr
bachar.kabalan@enpc.fr

Planning de la présentation

1. Introduction et contexte
2. Modélisation
3. Présentation du modèle d'acheminement des piétons
4. Premiers résultats
5. Bilan et questions ouvertes



IFSTTAR - lundi 4 mai 2015

Séminaire :

Observation et Modélisation du Comportement des Piétons en Ville

L'acheminement des piétons dans les gares

1. Introduction et contexte

La gare : un objet technique très complexe

❑ L'interface entre la ville et les transports

- Des interactions avec l'aménagement et l'immobilier
- Des effets (structurants?) sur la socio-économie

❑ Un nœud du système de transport

- Operations : stockage des trains, capacité, signalisation, ...

❑ Un lieu de forte concentration de voyageurs

- Des enjeux commerciaux, sécuritaires, de gestion de flux, ...



Plusieurs unités mobiles !

La gare fait partie de la ville

CHIFFRES CLÉS



2 MILLIARDS
de voyageurs par an



2 MILLIONS DE M²
d'espaces d'accueil
et de vente, commerces,
bureaux



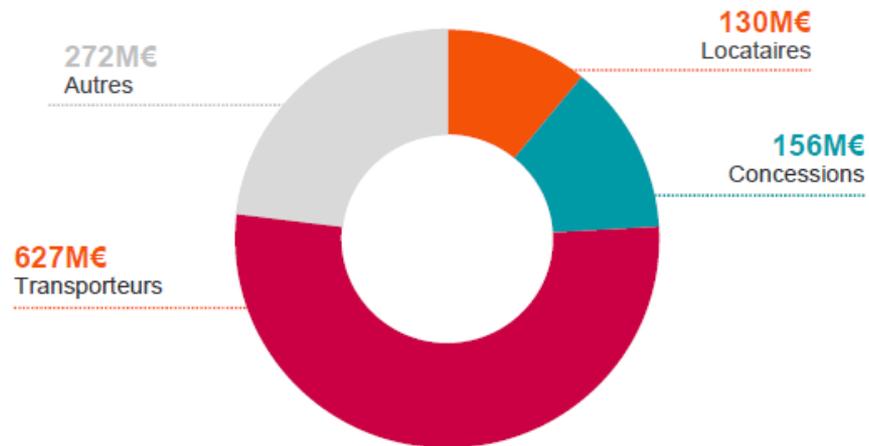
3 000 GARES
voyageurs gérées dont :
131 de segment A,
929 de segment B,
1 939 de segment C



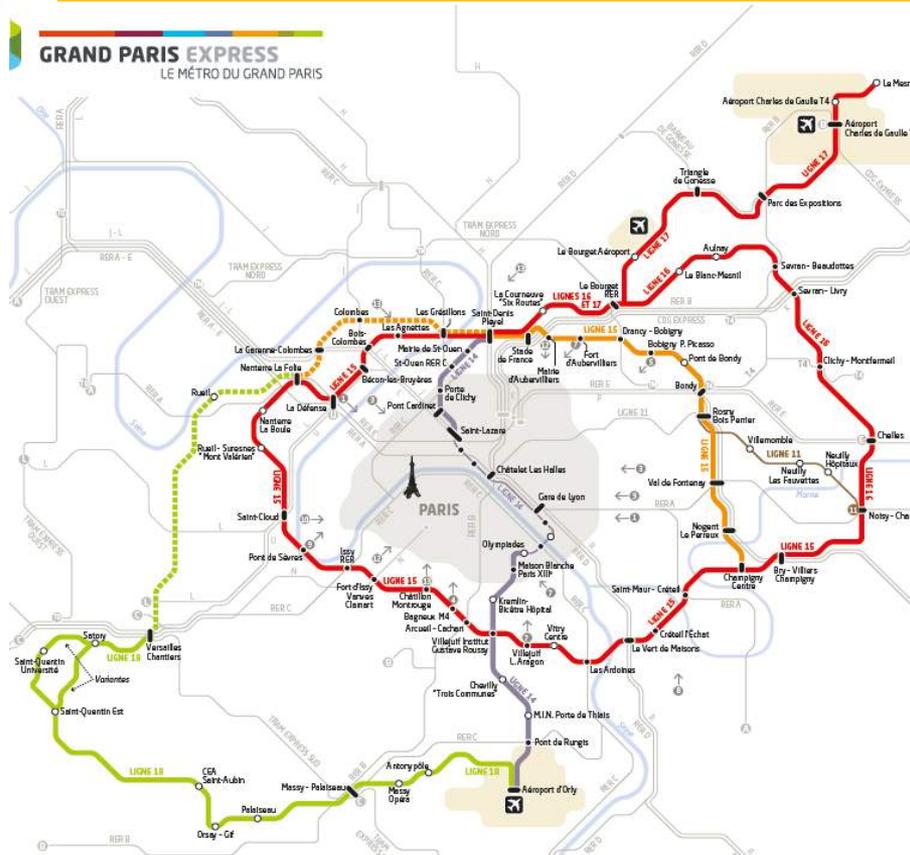
180 000 M²
de commerces

Gares &
Connexions

CA 2013 : 1 185M€



En Ile-de-France



Nouveaux éléments :

- La multimodalité
- Le numérique et l'information
- Le confort
- Des nouveaux usages/ services



D'un lieu de passage à une destination en soi

Au LVMT



Le LVMT analyse, dans une perspective de développement durable, les interactions entre la ville et les territoires d'une part, les systèmes de transport d'autre part.

Partenariats industriels :



Modèle CapTA (Leurent et al., 2014)

Modèle de goulot (Leurent et al., 2015)



Projet Long – ENPC (2013, 2015)

Partenariats académiques :



Littérature - piétons

Les piétons en ville

- Sécurité, ergonomie, urban design
- Facteurs humains
- Milieu ouvert, trajet « libre »

Les mouvements des foules

- Micro ou macro
- Fléchage, structures, évacuation
- Milieu fermé, concentrations très fortes, mouvements « coordonnés »

Les opérations ferroviaires

- Diagramme d'occupation de voie
- Signalisation, capacité en trains
 - Accès au train ?
 - Capacité de la plateforme ?
 - Dwell time ?

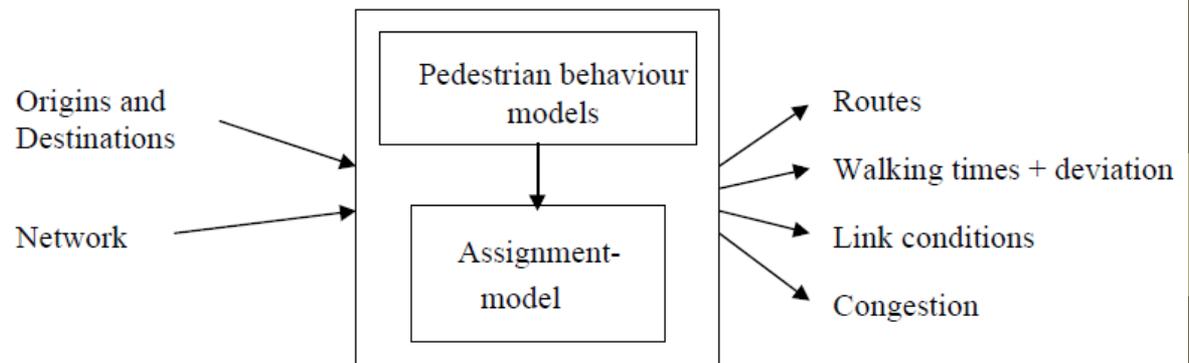
Littérature – piétons dans la gare

EPFL 2015

- Analyse empirique et macroscopique
- Les flux sont déduits par les horaires des trains

Delft (Daamen et Hoogendoorn)

- NOMAD et SimPed : modèle microscopique + macroscopique
- Respect de la géométrie physique – Chemin le plus court – OD
- Résultat : LOS + l'impact du type de rame sur le DT



Galiza et al. (PTV)- Australie



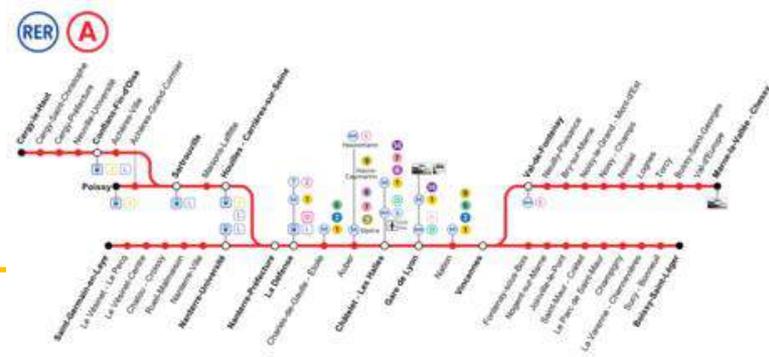
IFSTTAR - lundi 4 mai 2015

Séminaire :

Observation et Modélisation du Comportement des Piétons en Ville

L'acheminement des piétons dans les gares

2. Modélisation



Eléments de terrain

RER A - Gare de Noisy-Champs

- RER A – $>10^6$ voyageurs, 30 trains/h
- problèmes d'opérations (DT)
- Gare de Noisy-Champs (16trains /HPM)
- 4 entrées/sorties – accès par les 2 extrémités des plateformes
- HPM- jour ouvrable (sans pluie) - Sens vers Paris
- Rames à 2 niveaux (MI09)– 10 portes



Méthodologie

❑ Modélisation des éléments de la gare (modèle P. Argoul et al.)

- Géométrie
- Obstacles physiques et virtuels (panneaux d'information)
- Discrétisation des quais

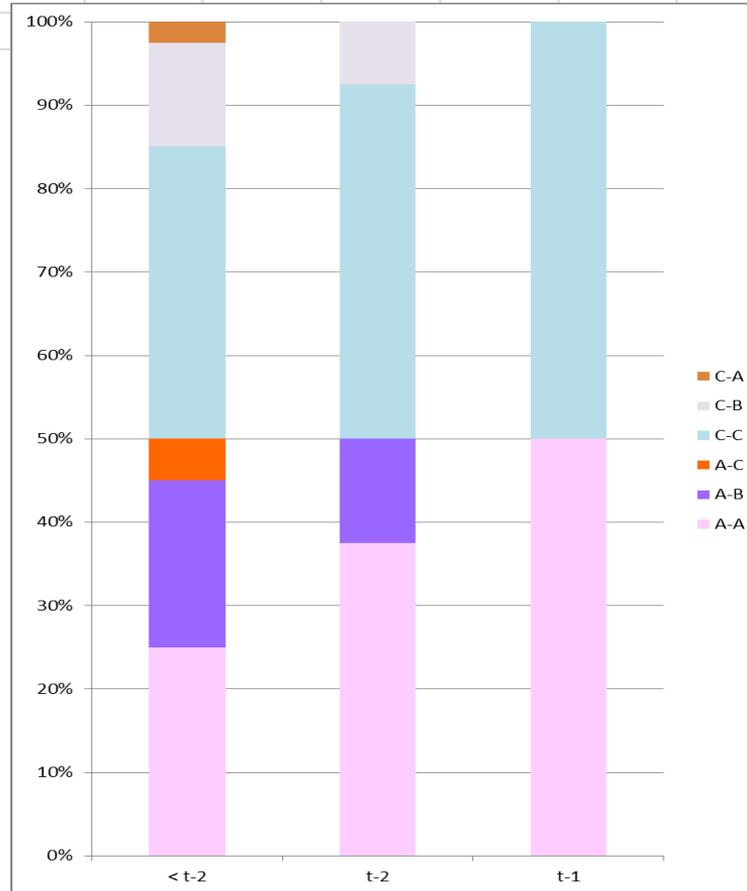
❑ Intérieur des trains

❑ Flux des voyageurs

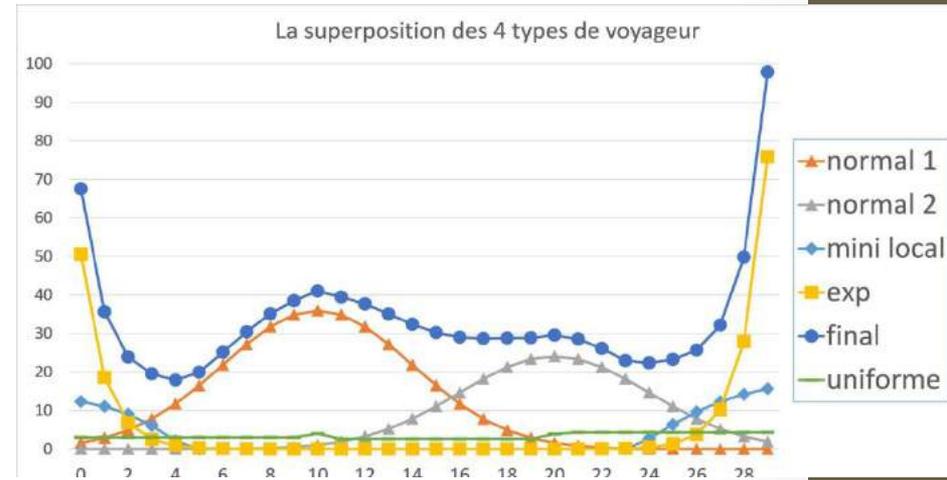
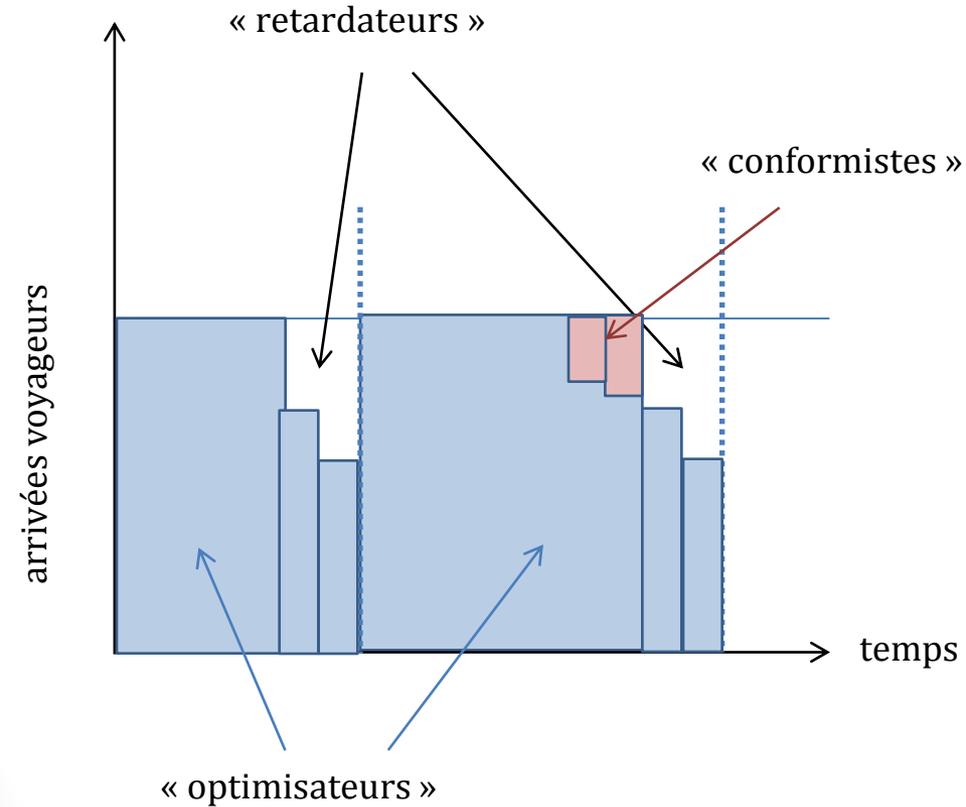
- **Trains** : Serpent de charge depuis Marne-la-Vallée : en prenant en compte la capacité des trains, par O-D et aire de la plateforme (A,B,C), par position assis/debout
- **Intérieur de gare** : par couple (A,B,C) – sortie, par type de titre de transport, par âge (V), par heure d'arrivée à la gare

Discrétisation spatiotemporelle

	Aire A		Aire B						Aire C			
Entrée / Sortie	W10	W9	W8	W7	W6	W5	W4	W3	W2	W1	Entrée / Sortie	50%
Entrée / Sortie	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	W9	W10	Entrée / Sortie	
	Aire A		Aire B						Aire C			
	→	Paris										



Simulations différentes pour les profils





IFSTTAR - lundi 4 mai 2015

Séminaire :

Observation et Modélisation du Comportement des Piétons en Ville

L'acheminement des piétons dans les gares

3. Le modèle d'acheminement des piétons

- **Researchers involved in the research:**
 - Pierre Argoul, Gwendal Cumunel, *S. Erlicher*
- **Defended and ongoing theses:**
 - *J. Bodgi (2008, IFSTTAR), P. Pécol (2011, ENPC)*
 - *B. Kabalan (2013-2015, IFSTTAR)*
 - *A. Jebrane (2015-2017, ENPC- LAMAI Univ. Marrakech)*



Toda Park Bridge

- **Applications**
 - *Oscillations of footbridges under pedestrians' loading: Millenium Bridge in London, Simone de Beauvoir Bridge Paris, Toda Park Bridge in Japan, etc....*
 - *Movements of pedestrians in urban spaces: Japan, Mecca, etc...*

about 2000 pedestrians simultaneously



Millenium Bridge - June 10th 2000

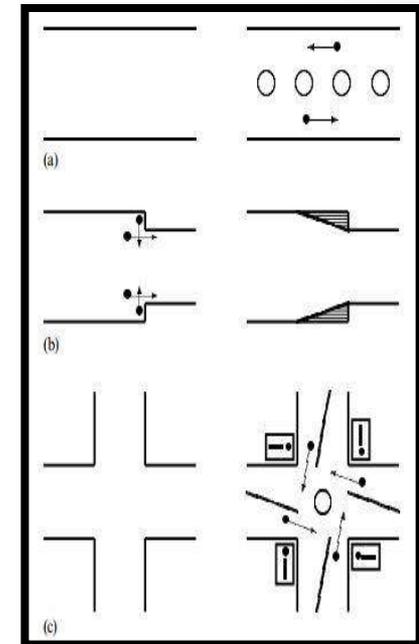


Hachiko - Shibuya, Japan

General objectives

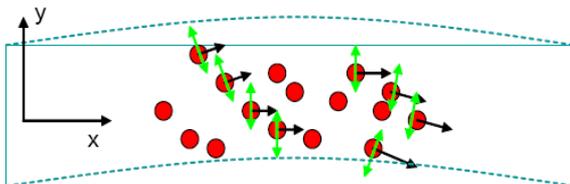
1. Develop a 2D crowd movement model :

- Predict pedestrian flows
- Design elements of pedestrian facilities

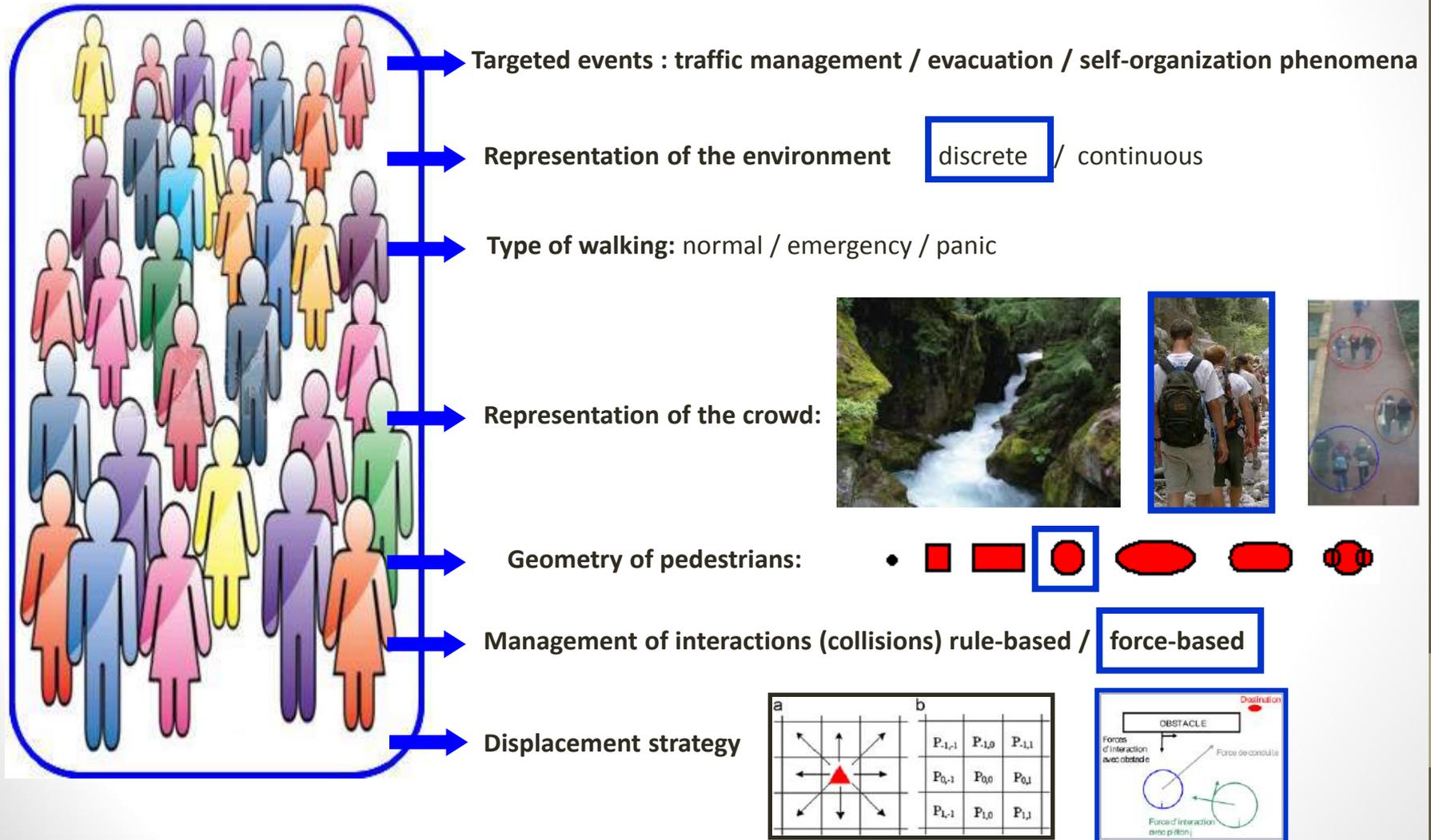


2. Study crowd-structure interaction

- Footbridges (Bodgi 2008 and Pecol 2011)



How and for what purpose model the crowd movement (2D)?



Main idea:

Granular medium



Adaptation



1. Choice of a displacement strategy

↳ Provide a direction to each particle at every instant (a trajectory followed by the particle if alone)

2. Introduction of the displacement strategy in the granular model

3. Management of at a distance interactions

Crowd



- discrete approach
- management of local interactions

Managing Multiple Contacts

« Discrete Element Method »

Smooth

- **Distinct Element Method (DEM)**
(Cundall, 1971 and 1979)
- **Molecular Dynamics Method**
(Allen and Tildesley, 1987)



The social force model
(Helbing et al., 1995)

Non-smooth

- **Non Smooth Contact Dynamics Method**
(Jean and Moreau 1992; Moreau 1998; Jean, 1999)
- **NSM1**
(Maury, 2006)
- **NSM2**
(Frémond, 1995; Dimnet, 2002; Dal Pont and Dimnet, 2008)



« Mathematical » model
(Venel, 2008)

The 2D discrete model
(Pécol et al, 2010)



The model for multiple contacts

(Frémond)

Principle of Virtual Work \rightarrow
$$\begin{cases} \underline{M} \underline{\ddot{u}}(t) = -\underline{f}^{int}(t) + \underline{f}^{ext}(t) & \text{Almost everywhere} \\ \underline{M} (\underline{\dot{u}}^+(t) - \underline{\dot{u}}^-(t)) = -\underline{p}^{int}(t) + \underline{p}^{ext}(t) & \text{everywhere} \end{cases}$$

$$p^{int} \in \partial\Phi ; \Phi = \Phi^d + \Phi^r$$

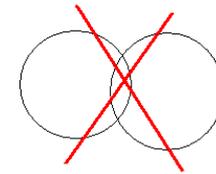
$$\Phi^d(\dot{z}) = \frac{K}{p} |\dot{z}|^p \quad \text{for } p > 1$$

$$\dot{z} = \underline{\Delta} \left(\frac{\underline{\dot{u}}^+ + \underline{\dot{u}}^-}{2} \right)$$

$\underline{\Delta}(\underline{\dot{u}})$: the relative velocity

$p = 2$ results similar to those obtained by the coefficient of restitution

$$\Phi^r = I_\Omega(\dot{z} \underline{N}), \quad \Omega = \left[\frac{{}^t \underline{\dot{u}}^- \cdot \underline{N}}{2}, +\infty \right[$$

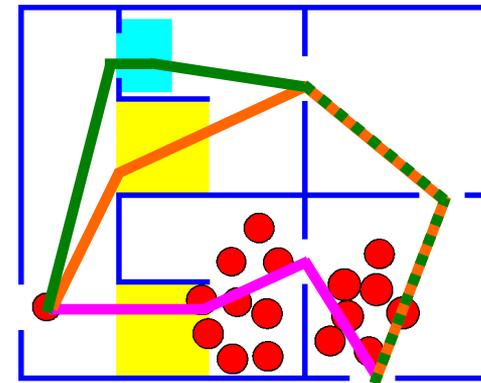


$$U_N^+ = {}^t \underline{\dot{u}}^+ \cdot \underline{N} \geq 0$$

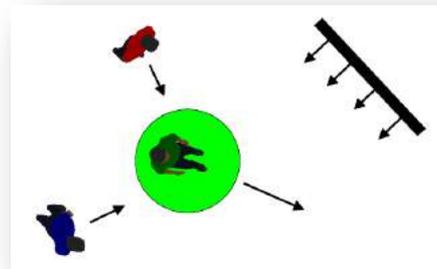
Adaptation to crowd movement

Types of navigation

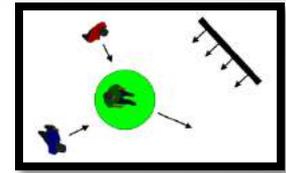
- Long range (10-200m)
- ★ • Medium range (5-50m)



- ★ • Short range (1-10m)



Avoidance of contacts

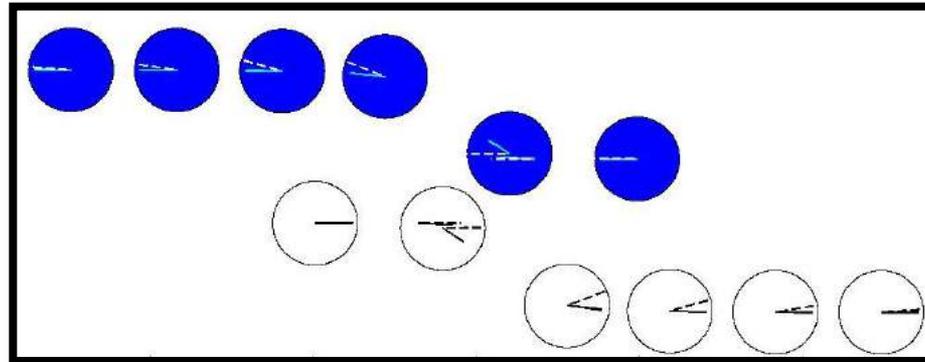
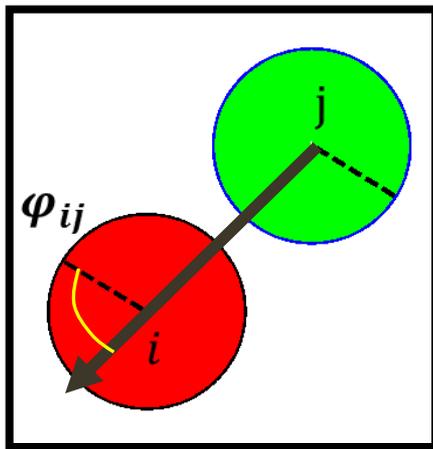


Short range

Short range (1-10m)

Pedestrian-pedestrian repulsive force (Helbing, 1995)

$$\underline{f}_{ij}^{soc}(t) = A_i \exp\left(\frac{-D_{ij}(q(t))}{B_i}\right) \left(\Lambda_i + (1 - \Lambda_i) \frac{1 + \cos \varphi_{ij}}{2}\right) \underline{e}_{ij}$$

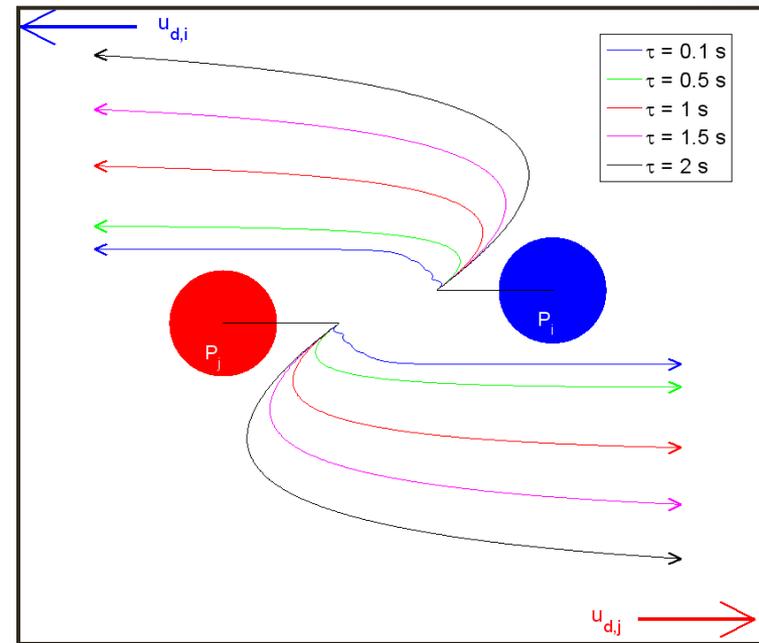
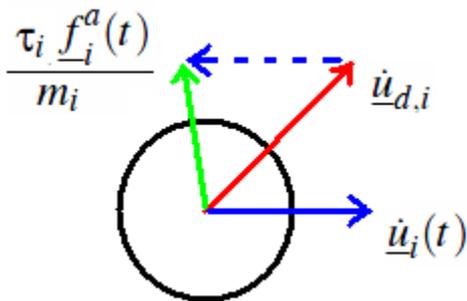


after a collision, recovery of the desired direction

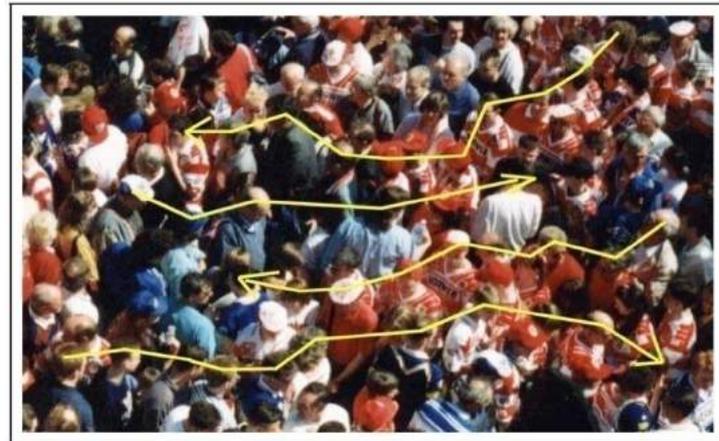
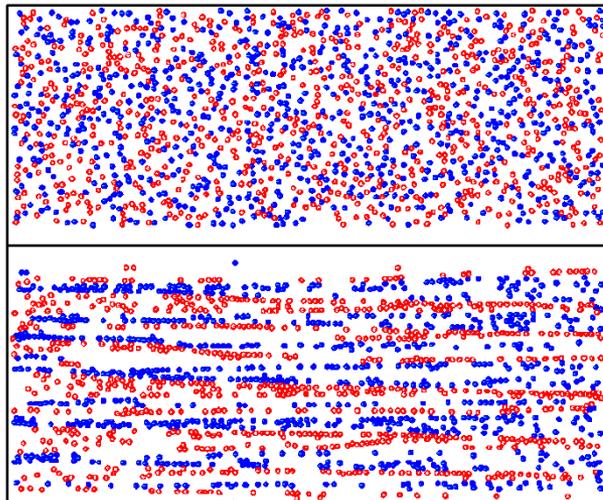
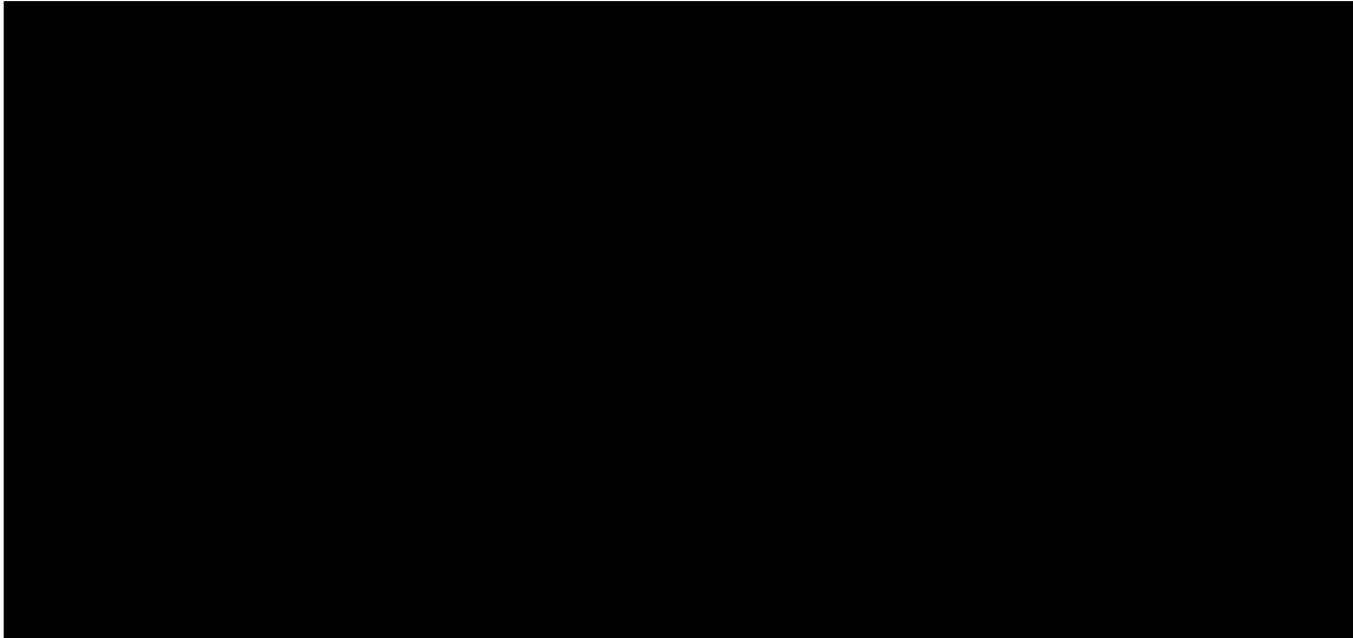
Introduction of an acceleration force (Pécol et al., 2010, 2011a):

$$\underline{f}_i^a(t) = m_i \frac{\|\underline{\dot{u}}_{d,i}\| \underline{e}_{d,i}(t) - \underline{\dot{u}}_i(t)}{\tau_i}$$

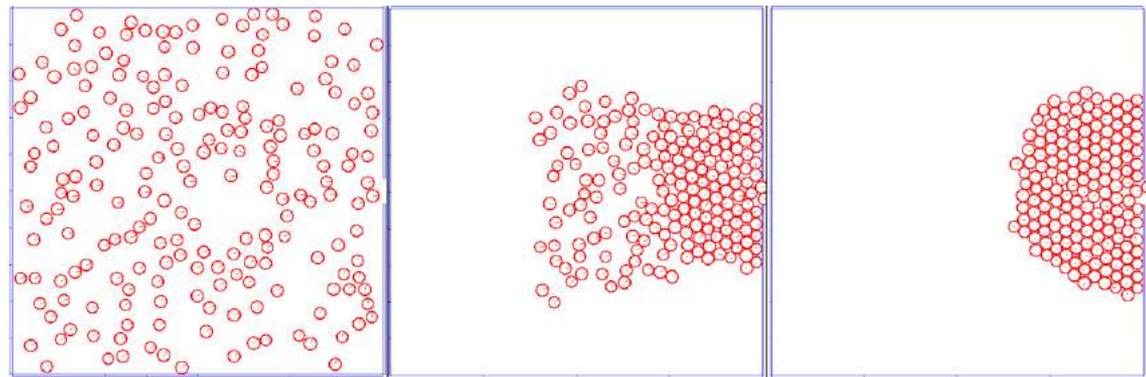
with $\|\underline{\dot{u}}_{d,i}\| = \frac{L_{pas,0,i}}{\pi} \omega_i$



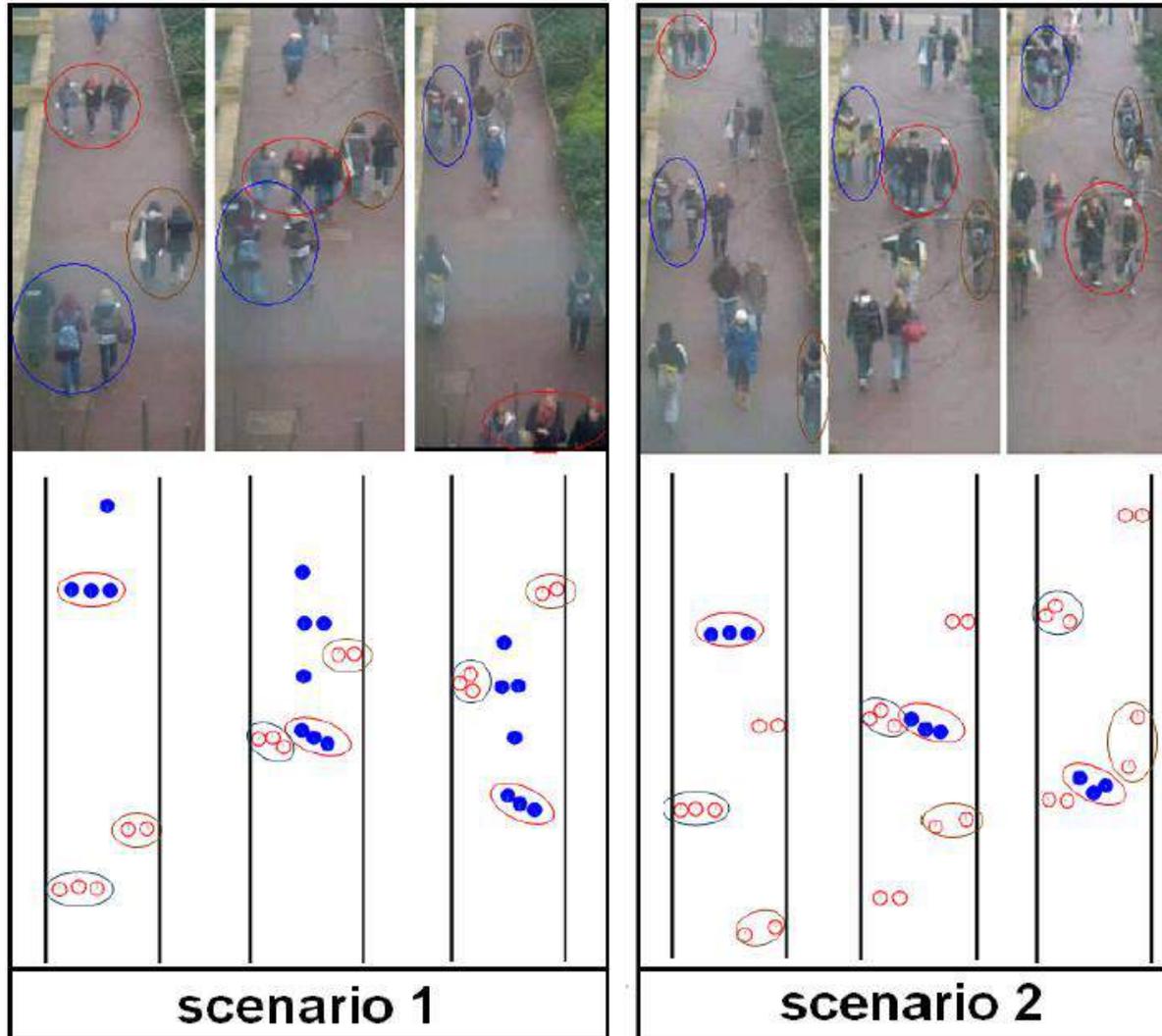
Line formation



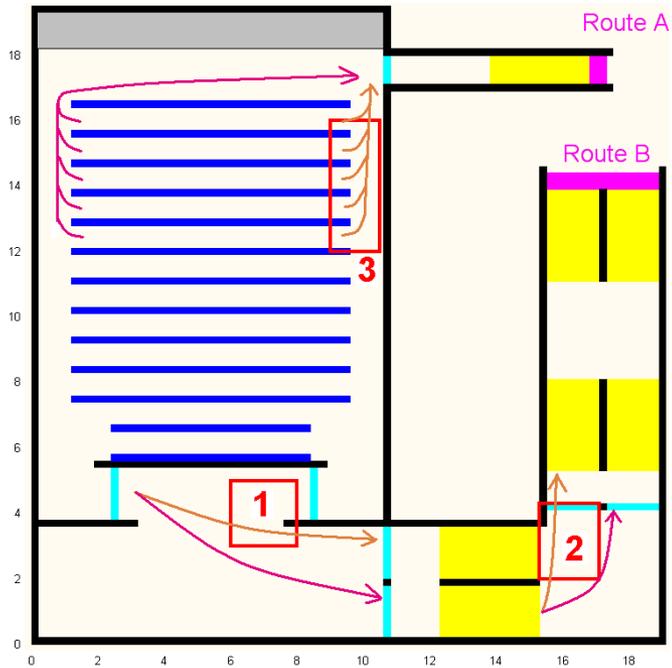
Arch formation



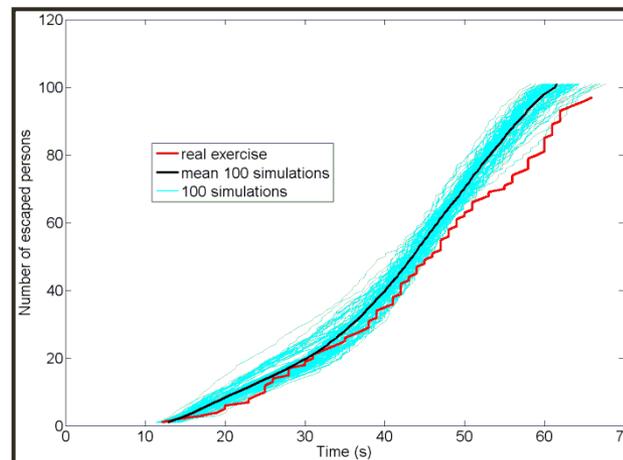
Sub-groups formation



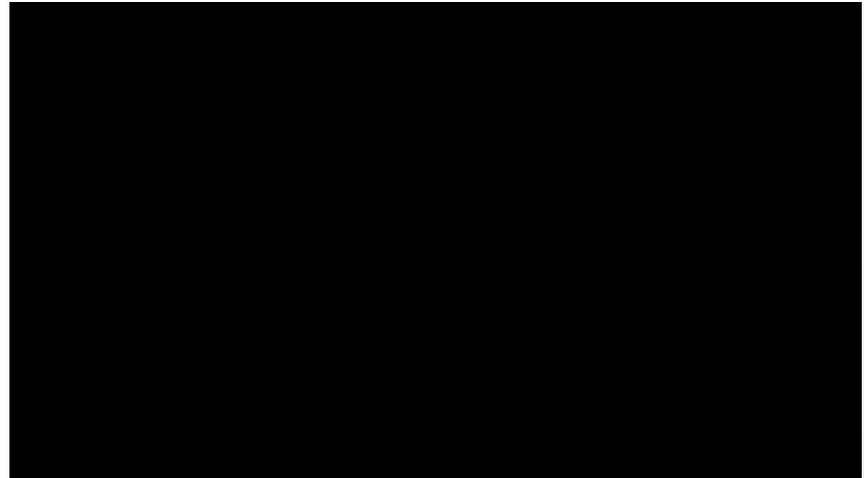
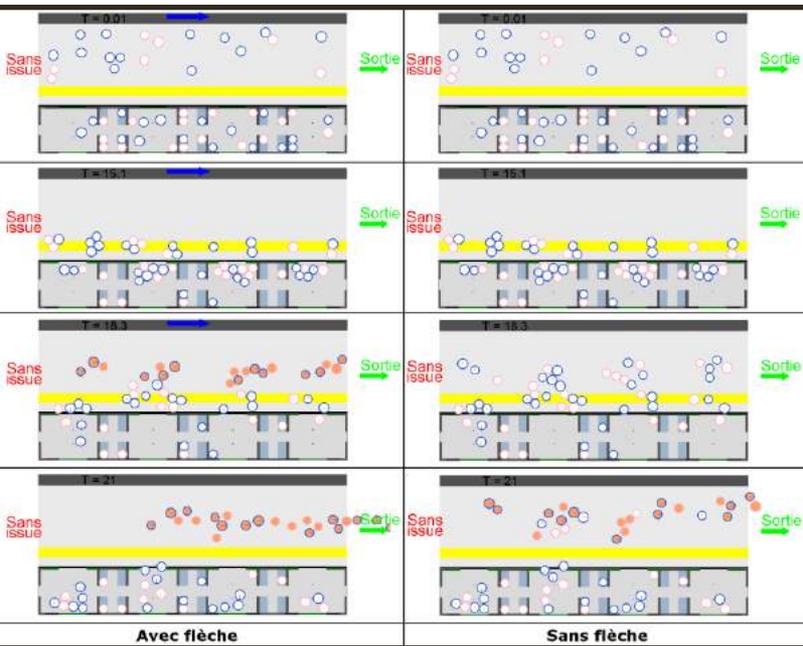
Evacuation of a cinema room



	Real exercise	Numerical simulations
Number of students	101	101
Number of Seats	174	174
Number of runs	1	100
Route A		
Time (last person)	45 s	49.4 s
Mean egress time	31.1 s	30.7 s
Route B		
Time (last person)	66 s	62 s
Mean egress time	53.1 s	48.6 s
Overall		
Time (last person)	66 s	62 s
Mean egress time	44 s	41.9 s



Evacuation of a subway train





IFSTTAR - lundi 4 mai 2015

Séminaire :

Observation et Modélisation du Comportement des Piétons en Ville

L'acheminement des piétons dans les gares

4. Résultats intermédiaires

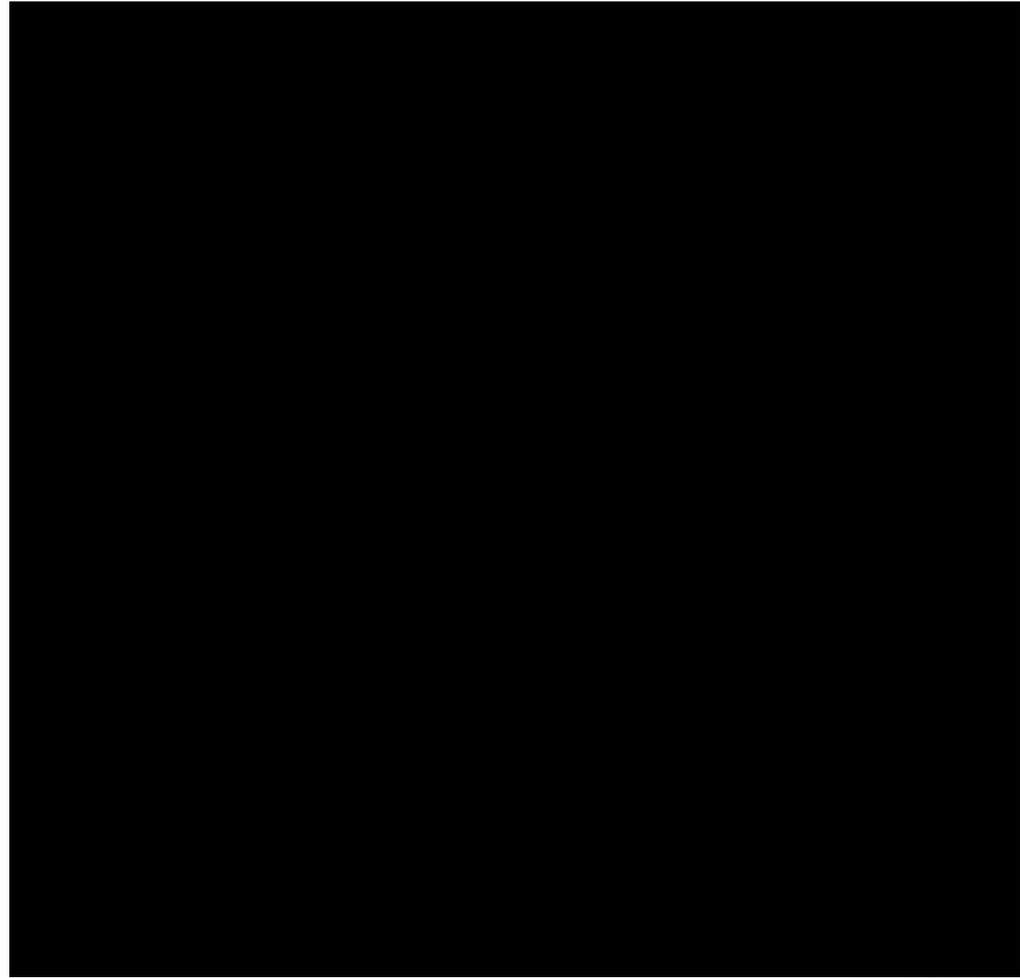
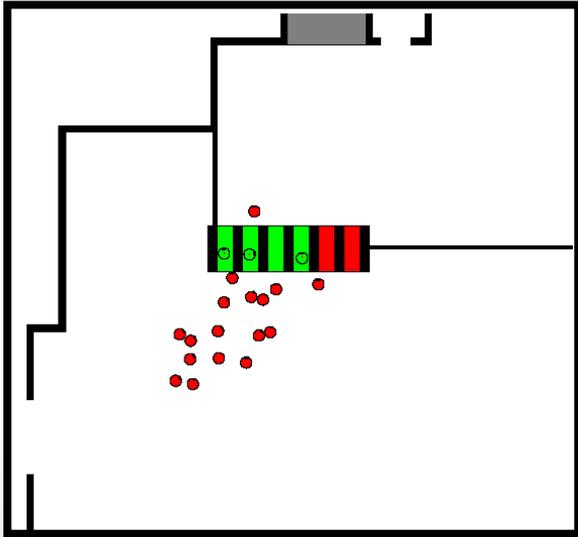
Pedestrian behavior in service facilities

- Pedestrians perform activities
- Pedestrians interact with public transport vehicles (boarding/alighting)



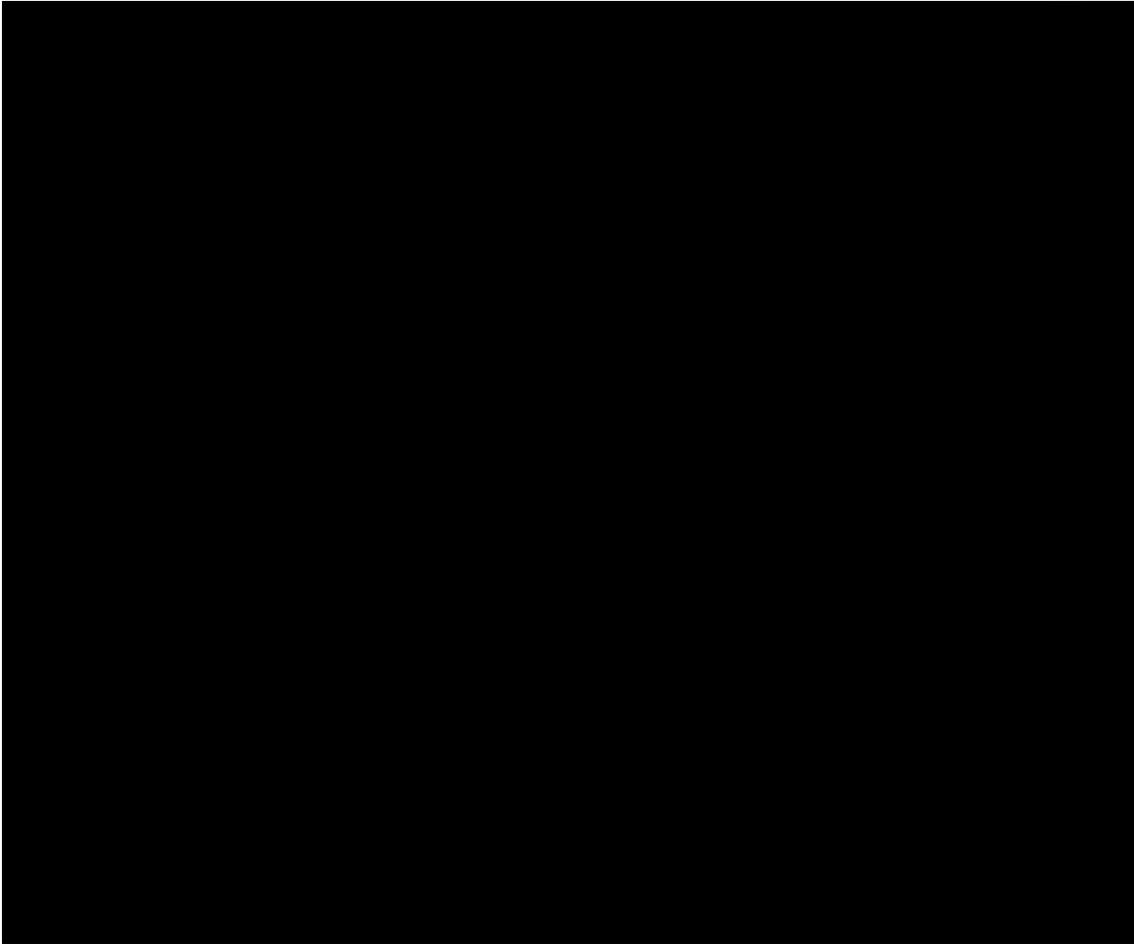
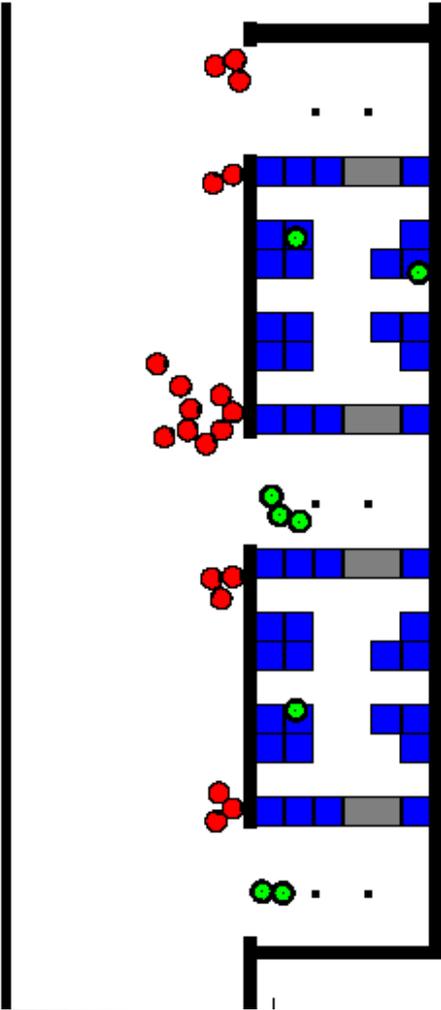
Pedestrians perform activities

Passing turnstiles



Interaction with public transport vehicles

Boarding and Alighting





IFSTTAR - lundi 4 mai 2015

Séminaire :

Observation et Modélisation du Comportement des Piétons en Ville

L'acheminement des piétons dans les gares

5. Bilan et questions ouvertes

Développements futurs - à l'horizon de juillet

- ❑ Sens vers Marne-la-Vallée
- ❑ De la vitesse à la distribution des temps de parcours élémentaires
- ❑ Discrétisation plus fine (par wagon)
- ❑ Agrégation - diagrammes fondamentaux

Développements futurs

- ❑ Dynamisation du modèle (en cours) et HPS
- ❑ Intégration du modèle de goulot
- ❑ Analyse des profils (« optimisateur », « retardateur », « sociable », « conformiste », « touriste »)
- ❑ Analyse probabiliste : loi d'arrivée des piétons, loi de positionnement le long du quai/ profil
- ❑ Profils socio-économiques
- ❑ Toutes les gares sur la ligne A
- ❑ Prise en compte des boutiques ?

Résultats attendus

Suggestions pour :

❑ Design Gares et - MR

- Panneaux d'information
- Emplacement des portillons
- Emplacement des commerces

❑ Opérations

- Temps de stationnement (DT) et capacité réelle
- Etude des flux des voyageurs (bottlenecks)
- Information pour le bon positionnement sur la plateforme